



УДК 628.979:159.93

А. В. Прокопов, докт. техн. наук,
НЦЦ „Институт метрологии”

В. С. Чернец, канд. техн. наук,
О. И. Лесная
Харьковская национальная
академия городского хозяйства
тел. (057) 707 – 32 – 42

МЕТОД АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ В ЗАДАЧАХ СВЕТОВОГО ДИЗАЙНА

Постановка проблемы. Тенденции современного проектирования осветительных установок определяют работу светотехников как художественное проектирование средств освещения и световой среды. При этом проект освещения разрабатывается не только как проектно-сметная документация, но и включает дизайн-проект, представляющим собой презентацию работы, соответствующей композиционным правилам промышленного дизайна.

Таким образом, при разработке дизайн-проекта освещения зачастую требуется проведение сравнительного анализа большого количества различных вариантов дизайнерских решений с последующим выбором наиболее предпочтительного из них. Особенностью такого анализа является качественный характер критериев выбора, что затрудняет решение задачи оптимального выбора и делает данный выбор неоднозначным.

Вместе с тем, существуют строгие математические методы количественного сравнительного анализа и оптимального отбора вариантов по многим критериям, в том числе, по качественным.

Постановка цели и задач исследования. Целью данной работы является разработка математического описания качества дизайн-проекта и его оценки, что в свою очередь требует выбора метода количественного сравнительного анализа, систематизации критериев качества дизайн-проектирования, разработки алгоритма расчета критериев.

Изложение основного материала исследований. За несколько последних десятилетий восприятие и значение дизайна освещения значительно изменилось. Раньше в основе данного понятия лежало три принципа – функциональность, эстетика и энергоэффективность, а в центре внимания был дизайн-продукт. Со временем акцент сместился в сторону пожеланий, вкусов и нужд потребителя, в результате чего сформировалась новая дизайн-концепция, характеризующаяся структурным и систематическим подходом к созданию систем освещения с ударением на инновации. Однако, трендовая направленность современных систем освещения теряет стабильность качества светового оформления пространств.

В таких условиях выбор критериев качества дизайн-проекта основывается на функциональности архитектурного пространства, уместности выбранной дизайн-концепции, а также вкусе заказчика. Для профессионала качественный дизайн должен быть, прежде всего, ориентирован на потребности клиента [1]. Для потребителя же визуальное впечатление является основным критерием качества дизайна, а это всего

лишь один из его сегментов. Поэтому такая оценка достаточно субъективна – здесь не принимаются во внимание все остальные категории, представляющие собой сущность качественного дизайнерского решения.

Таким образом, при выборе оптимального дизайн-решения критерии качества дизайна систематизируются в строгой последовательности от ориентации на потребности клиента, как самого основополагающего критерия, до экономических показателей, однако рассматриваются сквозь призму правил стилистики.

Среди методов качественного сравнительного анализа и оптимального отбора вариантов можно выделить *метод анализа иерархий (МАИ)*, предложенный американским математиком Т.Саати. Данный метод хорошо зарекомендовал себя в применении к разнообразным задачам сравнительного анализа, оптимального выбора и принятия решений при наличии многих критериев различной природы (количественных, качественных, числовых с разной размерностью и т.д.) [1]. МАИ позволяет наряду с формированием количественных выводов относительно оптимального варианта одновременно оценивать достоверность данных выводов.

Выбор оптимального дизайн-проекта освещения в рамках МАИ можно представить в виде структуры, состоящей из трех иерархических уровней:

- ✓ *первый (верхний) уровень* иерархии соответствует цели поставленной задачи – выбору оптимального (предпочтительного) варианта дизайн-проекта;
- ✓ *на втором уровне* размещаются критерии оценки, с помощью которых осуществляется выбор;
- ✓ *на третьем (нижнем) уровне* – альтернативы/варианты предлагаемых проектных решений, которые подвергаются сравнению.

Алгоритм выбора оптимального дизайн-проекта освещения на основе метода МАИ представляет собой построение матриц попарного сравнения качественных критериев дизайн-проекта с присвоением веса каждому из сравниваемых элементов:

- матрицы попарных сравнений элементов, которые являются исходными данными для последующей математической обработки с целью выбора наиболее предпочтительного (оптимального) варианта дизайн-проекта строятся для второго и третьего уровней иерархии;
- для матриц каждого уровня устанавливаются векторы локальных приоритетов, которые отображают вклад в оценку отдельных элементов этого уровня. С помощью локальных приоритетов определяются глобальные приоритеты для каждого варианта (выбранного для сравнения), которые предоставляют возможность осуществить ранжирование всех вариантов с учетом влияния всех избранных критериев оптимальности.

Приведем основные соотношения расчетного алгоритма МАИ, адаптированные к рассматриваемой задаче. При попарном сравнении между собой всех критериев выбранного варианта проекта, в том числе, количественных и качественных, результатам сравнения этих критериев придаются численные значения согласно шкале, приведенной в табл. 1.

Таблица 1

Шкала относительной важности

Относительная важность	Определение
1	Равная важность
3	Умеренное преимущество одного над другим
5	Существенное преимущество
7	Значительное преимущество
9	Очень сильное преимущество
2, 4, 6, 8	Промежуточное решение между двумя соседними суждениями
Обратные величины приведенных чисел	Если при сравнении одного критерия со вторым получено одно из вышеуказанных чисел (например, 3), то для сравнения второго критерия с первым имеем обратную величину (то есть 1/3)

Согласно этой шкале относительная важность a_{ij} критерия i в сравнении с критерием j может быть выражена натуральным числом от 1 до 9 или обратным числом (то есть в порядке уменьшения, от 1 до 1/9). Числа a_{ij} при этом являются элементами матрицы попарных сравнений критериев [1]:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1N} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{N1} & \dots & a_{NN} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где N - количество критериев, a_{ij} - относительная важность критерия i по отношению к критерию j . Когда $i = j$, то $a_{ij} = 1$ [6].

С помощью таблицы 1 строятся также матрицы \mathbf{B}_k попарного сравнения рассматриваемых вариантов дизайн-проекта освещения относительно каждого критерия с номером $k = 1, 2, \dots, N$, N - количество критериев:

$$\mathbf{B}_k = \begin{pmatrix} b_{11}^k & \dots & b_{1M}^k \\ \dots & \dots & \dots \\ b_{M1}^k & \dots & b_{MM}^k \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где b_{ln}^k - результат попарного сравнения 1-го и n -го вариантов дизайн-проекта в соответствии с k -м критерием ($k = 1, 2, \dots, N$), M - количество вариантов, которые сравниваются.

Методика анализа эффективности по любому из упомянутых ранее вариантов предусматривает 4 этапа.

Этап 1. Определение нормируемых собственных векторов для каждой построенной матрицы попарных сравнений (векторы, которые определяют локальные приоритеты). Компоненты нормируемых собственных векторов локальных приоритетов определяются согласно формуле:

$$A_i^k = \left(\prod_{j=1}^L x_{ij}^k \right)^{\frac{1}{L}} \left(\sum_{i=1}^L \left(\prod_{j=1}^L x_{ij}^k \right)^{\frac{1}{L}} \right)^{-1}, \quad (3)$$

где $X_{ij}^k = a_{ij}$ для $k=0$; $L=N$; $i, j=1, 2, \dots, N$ (то есть для матрицы (1) попарных сравнений критериев); $X_{ij}^k = b_{ij}^k$ для $k=1, 2, \dots, N$; $L=M$; $i, j=1, 2, \dots, M$ (то есть для матриц (2) попарных сравнений вариантов дизайн-проекта).

Здесь индекс k (натуральное число) используется для обозначения номера критерия, к которому относится величина с этим индексом. Если же речь идет о сравнении самих критериев, $k=0$.

Этап 2. Проверка согласованности локальных приоритетов, то есть проверка качества исходных данных, которые вошли в матрицы \mathbf{A} , \mathbf{B}_k . С этой целью определяется отношение согласованности по формуле:

$$OS_k = IS_k \cdot (SS)^{-1}, \quad (4)$$

где $k=0$ - для матрицы сравнения критериев, $k=1, 2, \dots, N$ - для матриц сравнения вариантов дизайн-проекта относительно каждого критерия; IS_k - индекс согласованности исходных данных, которые вошли в матрицы \mathbf{A} , \mathbf{B}_k ; SS - случайная согласованность, которая определяется согласно таблице 2, где L - размерность матрицы: $L=N$ - для матрицы \mathbf{A} и $L=M$ для матриц \mathbf{B}_k , при этом для $L \leq 2$ $OS_k = 0$ [6].

Таблица 2

Численные значения случайной согласованности

L	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SS	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Индекс согласованности определяется по формуле

$$IS_k = (\lambda_{\max}^k - L) \cdot (L-1)^{-1}, \quad (5)$$

где размерность L матрицы определяется количеством строк или столбцов матриц \mathbf{A} , \mathbf{B}_k (N - для \mathbf{A} , M - для \mathbf{B}_k); λ_{\max}^k - наибольшее собственное число для соответствующей матрицы (\mathbf{A} или \mathbf{B}_k), которое вычисляется как:

$$\lambda_{\max}^k = \sum_{j=1}^L \sum_{i=1}^L x_{ij}^k \cdot A_i^k, \quad (6)$$

где использованы величины, обозначения которых представлены в ранее приведенных формулах.

Если все определенные по формуле (4) $OS_k \leq 0,1$, то исходная информация считается согласованной, и можно переходить к следующему этапу. В том случае, когда некоторые $OS_k > 0,1$, то соответствующие исходные данные считаются недопустимо искаженными - в этом случае следует вернуться к пересмотру необходимых исходных данных с внесением дополнительной информации.

Этап 3. Определение глобальных (обобщенных) приоритетов для каждого из M вариантов дизайн-проекта, которые сравниваются, согласно формуле:

$$G_n = \sum_{i=1}^N A_i^0 A_n^i, \quad n = 1, 2, \dots, M. \quad (7)$$

где A_i^0, A_n^i – компоненты нормируемых собственных векторов локальных приоритетов, которые определяются по формуле (3).

Этап 4. Найденные по формуле (7) глобальные приоритеты для каждого из вариантов $n = 1, 2, \dots, M$ ранжируются в порядке роста величины G_n . Полученный порядок является ранжированием сравниваемых вариантов дизайн-проекта с учетом всех избранных для сравнения критериев. Вариант, для которого получено максимальное значение G_n , признается наиболее предпочтительным.

Адекватность разработанного математического описания качества дизайн-проекта и его оценки проверялась на примере дизайн-проекта архитектурного освещения офисного центра в г. Харькове (рис. а, б).



Рис. 1

а) Дизайн-проект архитектурного освещения с применением цветодинамических эффектов



Рис. 1

б) Дизайн-проект архитектурного освещения с применением контурной подсветки

Перечень критериев оценки оптимальности в общем случае формируется согласно обобщенным критериям, которые отвечают определенным группам частных критериев, базирующихся на задачах концепции освещения.

- K_1 – требования архитектора;
- K_2 – пожелания заказчика;
- K_3 – экономические показатели;
- K_4 – стилистические показатели;
- K_5 – показатели светотехнических расчетов;
- K_6 – показатели качества световой среды;
- K_7 – показатели инновационных технологий.

В расчетах использовались следующие количественные данные: матрица попарных сравнений (1) критериев $K_1 - K_7$, а также матрицы попарных сравнений (2) двух рассматриваемых вариантов относительно каждого критерия

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} & a_{17} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} & a_{27} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} & a_{36} & a_{37} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} & a_{46} & a_{47} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} & a_{56} & a_{57} \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} & a_{64} & a_{65} & a_{66} & a_{67} \\ a_{71} & a_{72} & a_{73} & a_{74} & a_{75} & a_{76} & a_{77} \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{B}_1 = \begin{pmatrix} b_{11}^1 & b_{12}^1 \\ b_{21}^1 & b_{22}^1 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{B}_2 = \begin{pmatrix} b_{11}^2 & b_{12}^2 \\ b_{21}^2 & b_{22}^2 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{B}_3 = \begin{pmatrix} b_{11}^3 & b_{12}^3 \\ b_{21}^3 & b_{22}^3 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{B}_4 = \begin{pmatrix} b_{11}^4 & b_{12}^4 \\ b_{21}^4 & b_{22}^4 \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{B}_5 = \begin{pmatrix} b_{11}^5 & b_{12}^5 \\ b_{21}^5 & b_{22}^5 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{B}_6 = \begin{pmatrix} b_{11}^6 & b_{12}^6 \\ b_{21}^6 & b_{22}^6 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{B}_7 = \begin{pmatrix} b_{11}^7 & b_{12}^7 \\ b_{21}^7 & b_{22}^7 \end{pmatrix}.$$

Расчет по вышеприведенной методике показал, что глобальный приоритет для второго варианта дизайн-проекта оказался выше, чем для первого. То есть, второй

вариант является более предпочтительным. Данный вывод подтверждается независимыми результатами работы над дизайн-проектом, выполненными согласно пожеланиям заказчика и требований архитектора, где был предложен именно тот вариант, который оказался наиболее оптимальным согласно проведенным выше расчетам.

Литература

1. Устин В.Б. Композиция в дизайне. Методические основы композиционно-художественного формообразования / В.Б. Устин – АСТ, 2008. – 267с.
2. Саати Т. Аналитическое планирование. Организация систем/ Саати Т., Кернс К. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
3. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. / Т.Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.

МЕТОД АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ ПРИ РІШЕННІ ЗАДАЧ СВІТЛОВОГО ДИЗАЙНУ

А. В. Прокопів, В. С. Чернець, О. І. Лісна

Розглянуті питання порівняльного аналізу великої кількості різних варіантів дизайнерських рішень світлового оформлення архітектури. Наведено рекомендації щодо аналізу якісних критеріїв вибору для оптимального рішення. Розглянуто приклад дизайн-проекту світлового оформлення фасаду будівлі, обраного за поданою методикою.

METHOD OF HIERARCHIES ANALYSIS FOR LIGHT DESIGN ISSUES

A. V. Prokopov, V. S. Chernets, O. I. Lesnaja

The comparative analysis for plenty variants of lighting design decisions issue is considered. Recommendations for the analysis of high-quality criteria of choice for the optimum decision are given. The example of façade light design-project according to the represented method is considered.